

실시간 회전영상 안정화를 위한 회전중심 및 회전각도 추정 방법

Estimation of Rotation Center and Rotation Angle for Real-time Image Stabilization of Roll Axis.

*조재수, **김도종
(Jae-Soo Cho and Do-Jong Kim)

Abstract - This paper proposes a real-time approach on the rotational motion estimation and correction for the roll stabilization of the sight system. This method first estimates a rotation center by the least-mean square algorithm based on the motion vectors of some feature points. And, then, a rotation angle is searched for a best matching block between a reference block image and successive input images using MPC(maximum pixel count) matching criterion. Finally, motion correction is performed by the bilinear interpolation technique. Various computer simulations show that the estimation performance is good and the proposed algorithm is a real-time implementable one to the TMS320C6415(500 MHz) DSP.

Key Words : digital image stabilization, rotation center estimation, rotation angle estimation, least-mean square method.

1. 서론

디지털 영상 안정화(digital image stabilization)는 원치 않는 카메라 움직임에 의해 발생하는 영상의 왜곡을 추정하여 제거하는 기법이다[1]-[3]. 전차와 같은 차량에 탑재된 조준경은 차량이 정지한 상태 또는 주행 상태에서 입력되는 모든 회전성분의 왜란을 제거하기 위해 매우 정밀한 안정화 성능이 요구된다.

기존의 조준경 장치는 엔진, 냉각팬, 불규칙한 노면 등으로 인해 입력되는 왜란을 제거하기 위해 관성 센서를 이용한 기구적 2축 안정화 장치를 적용하고 있다. 왜냐하면, 단순히 기구적으로 3축 안정화 장치를 구성할 경우 형상이 커지고 가격이 상승하기 때문이다. 그러나 최근의 사격통제장치는 원거리의 표적획득능력 및 명중률을 높이기 위해 피치, 요, 롤 3축에 대한 매우 정밀한 안정화 장치를 요구하고 있다. 따라서 본 논문에서는 3축 안정화를 구성하는 방법으로 기존의 2축(피치, 요) 안정화 장치에 부가적으로 1축(롤)을 디지털 영상 안정화를 적용하는 것을 고려하였다.

2. 회전중심 및 회전각도 추정알고리즘

전자영상 회전모션 추정 알고리즘은 1축 물이 움직인 각도를 움직이지 않은 기준영상과 임의의 회전중심으로 회전된 입력영상에서 그 회전중심과 회전각도를 추정하는 알고리즘으로 회전중심을 먼저 추정하고, 그 다음 회전각도를 추정하는 두 단계로 구성된다.

1.1 회전중심 추정

그림 1은 회전중심 추정을 위해 임의의 두 특징점에 대한

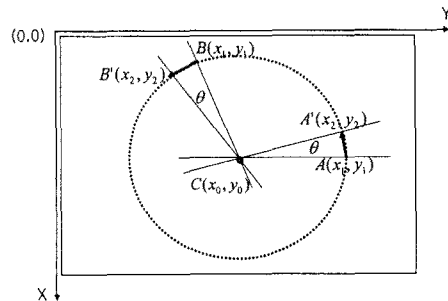


그림 1. 회전중심 및 회전각도 추정

경우를 설명하고 있다. 기준영상의 두 특징점 $A(x_1, y_1), B(x_1, y_1)$ 가 회전 중심점 $C(x_0, y_0)$ 를 중심으로 θ 만큼 회전된 영상에서의 두 특징점이 $A'(x_2, y_2), B(x_2, y_2)$ 라고 가정하자. 그림 1에서 회전중심 $C(x_0, y_0)$ 와 특징점 A와 A'에 대하여 식(1)과 식(2)를 얻을 수 있다.

$$\overline{CA} = \overline{CA'} \quad (1)$$

$$\sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2} = \sqrt{(x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2} \quad (2)$$

식(2)를 정리하면 식(3)과 식(4)를 얻을 수 있다.

$$[-2y_1 + 2x_2 \quad -2y_1 + 2y_2] \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} = [x_2^2 - x_1^2 + y_2^2 - y_1^2] \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} a_1 & b_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} = [c_1] \quad (4)$$

여기서, $a_1 = -2x_1 + 2x_2, \quad b_1 = -2y_1 + 2y_2,$

$c_1 = x_2^2 - x_1^2 + y_2^2 - y_1^2$ 이다.

저자 소개

* 正 會 員 : 한국기술교육대학교 인터넷미디어공학부

** 正 會 員 : 국방과학연구소(ADD)

두 점만으로도 회전중심을 계산할 수 있으나, 영상에 잡음이 포함되거나 프레임간 충분한 대조비(contrast)가 확보되지 않는 경우에는 오차를 유발하게 된다. 따라서, 계산상 충분한 강인성을 보장하기 위해 3점 이상을 활용하는 과결정 시스템(over-determined system)을 적용한다.

N 개의 특징점들에 대한 과결정 시스템을 적용하면, 식(4)는 식(5)와 같다.

$$\begin{bmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \\ \dots & \dots \\ a_N & b_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \dots \\ c_N \end{bmatrix} \quad (5)$$

식(5)를 행렬과 벡터 형태로 표현하면 식(6)과 같다.

$$Ax = b \quad (6)$$

$$A = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \\ \dots & \dots \\ a_N & b_N \end{bmatrix}, x = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} \text{ 이고, } b = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \dots \\ c_N \end{bmatrix} \text{ 이다.}$$

이 경우 회전중심은 최소 자승법(least-mean square method) 추정 알고리즘을 적용하면, 회전중심은 식(7)과 같이 구할 수 있다.

$$x = (A^T A)^{-1} A^T b \quad (7)$$

각 특징점들에 대한 회전된 지점은 블록 정합법(block matching algorithm)을 이용하여 지역 움직임을 추정한다. 블록 정합법은 실제 시스템을 구현할 때 하드웨어가 간단하기 때문에 지역 움직임 추정에 가장 많이 사용하는 방법으로, 정합기준으로는 가장 보편적으로 많이 사용되고 계산시간이 적은 MAD(Minimum mean absolute difference: MAD)를 이용하였다.

1.2 회전각도 추정

회전각도 추정을 위해서는 새로운 특징점을 이용하였다. 회전중심을 위한 초기 특징점에서 에지를 가장 많이 포함하는 윈도우의 중심을 새로운 회전각도 추정을 위한 특징점으로 추출한다. 추출된 특징점을 중심으로 임의의 크기의 블록을 임의의 회전한 각도로 회전한 후, 기준영상과의 정합을 통하여 회전된 각도를 검색하여 회전된 각도를 추정한다. 즉, 기준영상 특징점의 모션벡터를 찾는 것이 아니고, 기준영상의 특징점이 현재 입력영상에서 회전한 각도를 모두 검색해서 찾는 것이다.

회전한 각도는 예를 들어 최대 -5도에서 +5도 정도 범위에서 회전한다고 가정하면, 0.1도씩 또는 0.2도씩 증가/감소시키면서 기준영상의 특징점을 포함하는 블록을 0.1도 또는 0.2도씩 회전해 가면서, 현재영상에서 가장 정합이 잘 이루어지는 회전 각도를 찾는 것이다. 이때의 블록 정합 상관함수는 MPC(maximum matching pixel count)를 이용하였다. MPC에 대한 수식은 식(8), (9), (10)에 나타내었다.

$$T_{(i,j)}(k,l) = \begin{cases} 1, & \text{if } |R(k,l) - S(i+k, j+l)| \leq \text{Threshold} \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

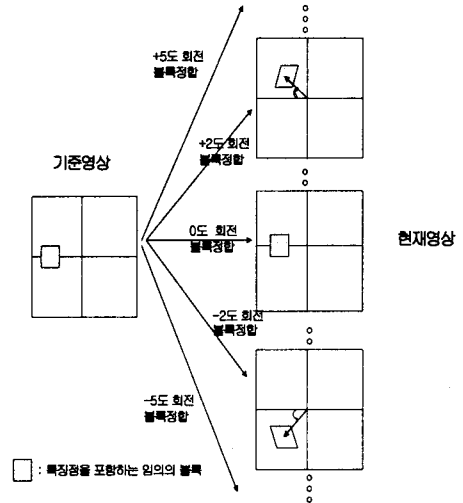


그림 2. 회전각도 추정 알고리즘의 개념도

$$G(i, j) = \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^M T_{(i,j)}(k, l) \quad (9)$$

$$[X, Y] = [i, j] | \max\{G(i, j)\} \quad (10)$$

앞에서 설명한 회전각도 추정에 대한 내용을 그림 2에 나타내었다. 회전각도 추정을 위한 특징점들은 초기 회전중심 추정을 위해 결정된 특징점들을 중심으로 임의의 검색영역에서 Prewitt 방법에 의한 에지를 추출한 후(이진화된 영상), 임의의 윈도우내에 가장 많은 에지를 포함하는 윈도우의 중심을 특징점으로 추출하였다. 이상으로 제안된 알고리즘에 대한 전체 회전영상 안정화 알고리즘의 순서도는 그림 3과 같다.

3. 실험 및 고찰

본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 먼저 합성영상과 실제 영상을 이용하여 모의 실험하였다. 모의 실험을 위해 회전하지 않은 영상을 이용하여 임의의 중심값과 임의의 회전각도로 회전한 영상을 생성하였다. 컴퓨터 모의 실험에 사용된 변수들은 다음과 같다.

- 회전중심 계산을 위한 특징점의 수: 12개의 특징점
- 특징점의 모션벡터 계산을 위한 블록 크기: 20 x 20
- 검색영역 크기: 만약 최대 -5도 ~ +5도의 경우: 25 x 25, 최대 -3도 ~ +3도의 경우: 20 x 20

그림 4와 5는 실제영상을 총 50개의 영상프레임을 이용하여, 회전중심을 추정한 결과와 추정된 회전중심을 이용하여 회전각도를 추정한 실험결과를 보여주고 있다.

실시간 영상 안정화 시스템은 먼저 카메라 입력영상을 입력받아 입력 영상을 DSP(TMS320C6415) 내부 메모리로 전송하고, 전송된 입력영상에 대한 안정화를 위해 안정화 영상 처리 알고리즘을 수행한 후, 최종 출력영상을 전시하기 위해 출력영상을 출력시스템에 전송한다. 그림 6은 이를 구현한 실제 시스템을 보여주고 있다. 그림 7은 실제 물 안정화 시스템의 제어콘솔 화면 및 전시영상화면이다. 본 논문에서 제안한 알고리즘을 DSP(TMS320C6415, 500 MHz)에 구현한

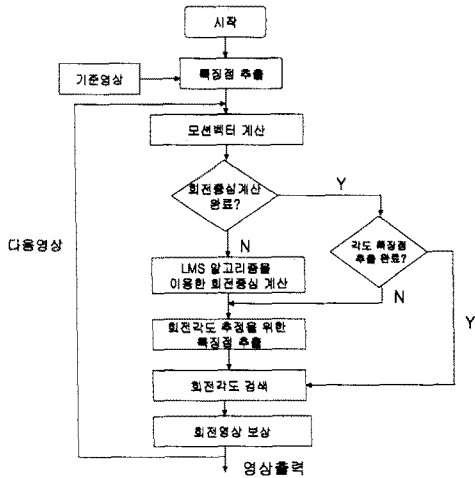


그림 3. 회전영상 안정화 알고리즘 순서도

후 실제 시스템(그림 6)에서 실험하였다. 실제 시스템 구현에서는 초기 20 프레임에서 회전중심을 계산한 후, 그 평균을 회전 중심으로 결정하였으며, 결정된 회전중심을 이용하여 이 후 매 프레임마다 회전각도를 추정하였다. 실시간 계산을 위해 회전중심 계산을 위한 특징점의 수는 7개로 하였으며, 검색영역도 실시간성을 위해 좀더 지능적인 방법을 사용하여 1초에 13 프레임이상 처리가 가능하였다. 그리고 입력영상의 특성에 무관하게 안정된 회전중심 및 회전각도를 추정할 수 있었다.

4. 결론 및 추후과제

본 논문에서는 전자영상 안정화 시스템에서 1축 물이 움직이는 회전 영상에 대하여 회전하지 않은 기준영상을 이용하여 그 회전중심과 회전각도를 추정하는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 합성영상과 실제영상을 이용한 컴퓨터 모의실험을 통하여 제안된 알고리즘을 검증하였고, 검증된 알고리즘을 실제 전자영상 안정화 시스템의 DSP에 구현하였으며, 그 실시간성과 회전영상 안정화 성능을 검증하였다.

본 논문에서 제안한 회전중심 및 회전각도 추정알고리즘의 성능에 가장 크게 영향을 미치는 요소는 특징점에 대한 정확한 모션벡터 계산이다. 모션벡터의 정확성을 높이기 위해 특징점의 선택이 매우 중요하며, 실시간성을 위해서는 특징점의 수와 모션벡터를 계산하는 과정에서의 검색영역의 크기가 중요하다. 실제 전시환경에서 제안된 알고리즘의 강인한 특성을 위해서는 모션벡터 계산과정의 불특정합(MAD 또는 MPC)의 잘못된 정합(false alarm) 확률을 최대한 줄여야 한다. 이를 위해서는 입력영상의 특징에 따라 다양한 노이즈를 제거하기 위한 적당한 필터링이 필요하고, 잘못된 정합을 줄일 수 있는 최적의 특징점 추출에 관한 연구가 필요하다.

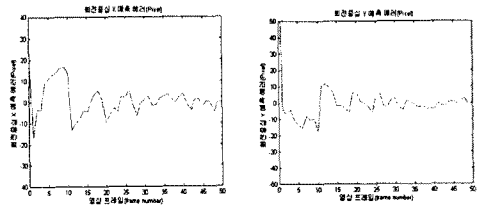


그림 4. 회전중심 추정 실험결과

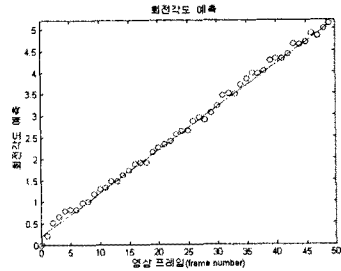


그림 5. 실제영상상에서 회전각도 추정 실험결과



그림 6. 롤 안정화를 위한 실제 시스템

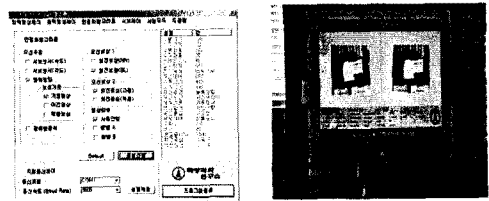


그림 7. 제어콘솔 화면 및 전시영상화면

참고 문헌

- [1] 석호동, 유준, 김도중, "영상 안정화를 위한 회전중심 및 각도 추정기법" 제어자동화시스템공학 논문지 Vol. 10, No. 7, July, 2004.
- [2] J. K. Pail, Y. C. Park, and D. W. Kim, "An adaptive motion decision system for digital image stabilizer based on edge pattern matching," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 38, pp. 607-615, 1992.
- [3] 조재수, 김도중, 노창균, 강윤식, "롤축회전영상 안정화를 위한 회전중심과 회전각도 추정"

2004년도제17회 신호처리합동학술대회